

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Re: US Patent Application 10/600,288
CIP US Patent Application claiming priority of PCT/EP01/14314
Filed June 21, 2003
Title Objective with at Least One Aspheric Lens
Applicant Schuster et al.
Attorney Docket (Z) 00117 P US

Mail Stop Art Unit 2873
PO Box 1450
Commissioner for Patents
Alexandria, VA. 22313-1450

Submission of Certified Priority Document

A Certified Priority Document supporting the foreign priority claim for the above referenced application is submitted herewith. Please place this Certified Priority Document in the application file.

There is no fee associated with this submission.

Thank you in advance for your attention to this matter.

Respectfully submitted,

M. Robert Kestenbaum
Reg. No. 20,430
11011 Bermuda Dunes NE
Albuquerque, New Mexico 87111
Phone (505) 323-0771
Fax (505) 323-0865

I hereby certify this correspondence is being deposited with the US Postal Service First Class Mail in an envelope with sufficient postage to PO Box 1450, Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313-1450 on February 6, 2004.

M. Robert Kestenbaum

Enclosures: Certified Priority Document, Acknowledgement Patent Post Card

February 6, 2004
Schuster et. al. (Z) 00117 P US



**Eur päisches
Patentamt**

**Eur pean
Patent Office**

**Office eur péen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit den in
den Akten befindlichen
Unterlagen der unten be-
zeichneten europäischen
Patentanmeldung überein
(Regel 94(4) EPU).

The attached is a true copy
of documents contained in
the European patent appli-
cation indicated below
(Rule 94(4) EPC).

Les documents ci-annexés
sont conformes aux
documents figurant dans
le dossier de la demande
de brevet dont le numéro
est indiqué ci-dessous
(règle 94(4) CBE).

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

01986853.8

München, den
Munich,
Munich, le

24/09/03

M. Nossek

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag.

For the President of the European Patent Office.

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Juli 2002 (04.07.2002)

PCT

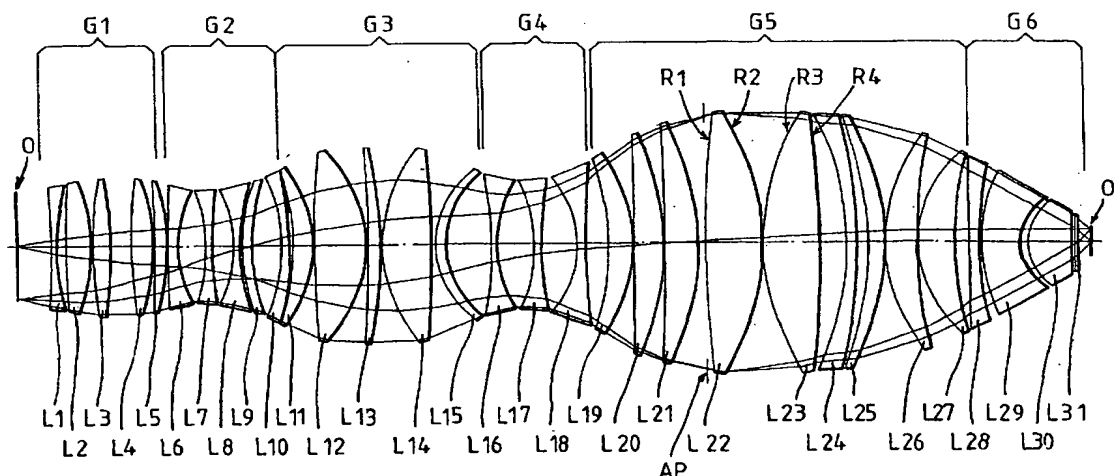
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/052346 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G03F 7/20**, (72) Erfinder; und
G02B 13/18 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHUSTER,**
Karl-Heinz [DE/DE]; Rechbergstrasse 2, 89551 Königs-
bronn (DE). **SCHILLKE, Frank** [DE/DE]; Scheuren-
feldstrasse 6, 73434 Aalen (DE). **STICKEL, Franz-Josef**
[DE/DE]; Lerchenstrasse 10, 73447 Oberkochen (DE).
EPPLE, Alexander [DE/DE]; Böhmerwaldstrasse 33,
73431 Aalen (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/14314
- (22) Internationales Anmeldedatum:
6. Dezember 2001 (06.12.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.
- (30) Angaben zur Priorität:
100 65 944.6 22. Dezember 2000 (22.12.2000) DE (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).
- (71) Anmelder (nur für AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR,
GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR): **CARL ZEISS**
[DE/DE]; 89518 Heidenheim (DE).
- (71) Anmelder (nur für GB, JP, KR): **CARL-ZEISS-**
STIFTUNG TRADING AS CARL ZEISS [DE/DE];
89518 Heidenheim (DE).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OBJECTIVE WITH AT LEAST ONE ASPHERICAL LENS

(54) Bezeichnung: OBJEKTIV MIT MINDESTENS EINER ASPHÄRISCHEN LINSE



(57) Abstract: The invention relates to a lens with at least one aspherical lens surface. In describing the aspherical lens surface (AS1) using Zernike polynomials, at least two of the following conditions: (a, b, c) are satisfied, the radius being fixed in such a way that $K4 = 0$.

(57) Zusammenfassung: Linse mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche, wobei bei Beschreibung der asphärischen Linsenoberfläche (AS1) mittels Zernikepolynomen mindestens zwei der folgenden Bedingungen: (a, b, c) erfüllt sind, wobei der Radius derart festgelegt ist, so dass $K4 = 0$ gilt.

WO 02/052346 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Objektiv mit mindestens einer asphärischen Linse

Die Erfindung betrifft eine Linse mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche sowie ein Objektiv mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche sowie eine Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie und ein Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile mit einem Objektiv das mindestens eine asphärische Linsenoberfläche aufweist.

Insbesondere in den Projektionsobjektiven der Mikrolithographie werden vermehrt Linsen mit asphärischen Linsenoberflächen zur Verbesserung der Abbildungsqualität eingesetzt. Beispielsweise sind solche Projektionsobjektive aus der DE 198 18 444 A1, DE 199 42 281, US 5,990,926, US 4,948,328, EP 332 201 B1 bekannt.

Asphärische Linsen werden vermehrt in Projektionsobjektiven der Mikrolithographie zur Verbesserung der Bildqualität eingesetzt. Um jedoch die gewünschte Qualitätsverbesserung durch den Einsatz von Linsen mit asphärischen Linsenoberflächen auch zu erreichen, ist es erforderlich, daß die tatsächliche Form der asphärischen Linsenoberflächen nicht über ein vorbestimmtes Maß von den Sollwerten der Linsenoberflächen abweichen. In der Mikrolithographie sind die zulässigen Abweichungen zwischen Sollfläche und Realfläche aufgrund der immer kleineren abzubildenden Strukturen sehr gering. Zur Überprüfung, ob eine vorliegende asphärische Linsenoberfläche im Rahmen der Meßgenauigkeit der geforderten Linsenoberfläche entspricht, wird eine spezielle Prüfoptik benötigt. Mit dieser Prüfoptik wird die Güte der asphärischen Linsenoberfläche überprüft.

Die Komplexität solcher Prüfoptiken hängt maßgeblich von der Oberflächenform der asphärischen Linsenoberfläche ab. Erstrebenswert ist insbesondere der Einsatz von asphärischen Linsen, deren asphärische Linsenoberfläche durch Prüfoptiken überprüfbar

sind, die mit vertretbarem Aufwand bereitgestellt werden können und vorzugsweise aus einer geringen Anzahl an sphärischen Linsen besteht.

Bei der Herstellung von asphärischen Linsenoberflächen kann es auch erforderlich sein, daß die asphärische Linsenoberfläche während des Herstellungsprozesses mehrmals geprüft und nachbearbeitet werden muß.

Auch durch das Polieren kann in Abhängigkeit von der Oberfläche eine unerwünschte und ungleichmäßige Veränderung der Oberflächenform aufgrund des Polierabtrages auftreten, woraus eine nicht zulässige Veränderung der asphärischen Linsenoberfläche resultiert.

Weiterhin kann es bei asphärischen Oberflächen hoher Asphärizität, das heißt bei großer Abweichung von der sphärischen Fläche, und mit starker Variation der lokalen Krümmung auch auftreten, daß diese Oberflächen nur mit sehr kleinen Polierwerkzeugen mit einem sehr großen Polieraufwand poliert werden können bzw. es nahezu unmöglich ist die asphärische Linsenoberfläche zu polieren. Gerade im Designprozeß von Objektiven ist es nicht komfortabel, wenn der Designer während des Designprozesses nur durch mehrfache Rücksprache mit dem Polierspezialisten und dem Spezialisten, der für die Bereitstellung der Prüfoptik zuständig ist, erfahren kann, ob das von ihm entwickelte Design mit einem vertretbaren Aufwand gefertigt werden kann oder ob er das Design ändern muß, damit ein auch unter Fertigungsgesichtspunkten akzeptables Design vorliegt. Insbesondere dann, wenn die Fertigung und die Entwicklung räumlich getrennt voneinander untergebracht sind, ist mit dem Abstimmen zwischen Design und Fertigung ein erheblicher Zeitaufwand verbunden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für die Herstellbarkeit von asphärischen Linsenoberflächen notwendige Bedingungen zu generieren.

Weiterhin lag der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem neue Designs mit asphärischen Linsenoberflächen ohne Rücksprache mit der Fertigung generiert werden können.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die im Patentanspruch 1 und 3 gegebenen Merkmale gelöst.

Durch die Maßnahme, die asphärischen Linsenoberflächen durch Zernikepolynome zu beschreiben, war es möglich eine Klassifizierung der asphärischen Linsenoberflächen derart vorzunehmen, daß bei Vorliegen von mindestens zwei der drei Bedingungen a) bis c) gemäß Anspruch 1 die jeweilige asphärische Linsenoberfläche mit einem vertretbaren Aufwand polierbar und prüfbar ist.

Damit ist es dem Designer möglich während des Designprozesses ohne Rücksprache mit der Fertigung eine Aussage zur Prüfbarkeit und Herstellbarkeit seines Designs machen zu können. Der Designer kann sich auf das Entwerfen von herstellbaren und prüfbaren Design beschränken.

Insbesondere das Vorliegen von Bedingung c) wirkt sich vorteilhaft auf die Fertigbarkeit von asphärischen Linsenoberflächen aus.

Durch die Maßnahme, daß die aus den Zernikepolynomen resultierenden Anteile , bezogen auf den normierten Radius, die folgenden Beiträge nicht übersteigt,

Zernikepolynom $Z_9 \leq 300 \mu\text{m}$

Zernikepolynoms $Z_{16} \leq 35 \mu\text{m}$

Zernikepolynoms $Z_{25} \leq 5 \mu\text{m}$

Zernikepolynoms $Z_{36} \leq 1 \mu\text{m},$

Zernikepolynom $Z_{49} \leq 0,2 \mu\text{m}$

ist eine Klasse von asphärischen Linsenoberflächen geschaffen, die sich im Bezug auf eine leichte Herstellbarkeit und Prüfbarkeit auszeichnen.

Analog zu einer schingenden Luftsäule oder schwingenden Seite könnte man die Koeffizienten Z_{16} , Z_{25} , Z_{49} , Z_{64} usw. als die Obertöne der Asphäre bezeichnen. Je

obertonärmer, also je rascher die Amplituden der Anteile aus den Zernikepolynomen Z_{16} und größer abklingen, desto leichter läßt sich eine Asphäre fertigen. Weiterhin wird eine Kompensationsoptik aus Linsen oder ein computergeneriertes Hologramm zur Prüfung der Asphäre dadurch wesentlich unempfindlicher bezüglich Toleranzen. Zusätzlich ermöglicht ein rasches Abklingen der Amplituden das Auffinden einer isoplanatischen Kompensationsoptik. Für die Qualität der Anpassung der Prüfoptik an die asphärische Oberfläche (Rest RMS-Wert der Wellenfront) ist das natürliche Abklingen der Amplituden der Zernikebeiträge entscheidend. Dies wird an dem vorgestellten Beispiel mit einem besonders harmonischen abklingen der höheren Zernikeamplituden deutlich. Es wäre also nicht wünschenswert einen einzelnen höheren Zerniketerm unnatürlich in seiner Amplitude zu verringern. Eine Kompensationsoptik aus sphärischen Linsen mit einer technisch sinnvollen Sin-i Belastung generiert ganz von selbst ein weich abklingendes Amplitudenmuster von höheren Zerniketermen.

Weiterhin hat sich als vorteilhaft herausgestellt, die asphärische Linsenoberfläche auf einer konvexen Linsenoberfläche vorzusehen. Dies wirkt sich insbesondere vorteilhaft auf den Polierprozeß aus.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, in einem Objektiv nur asphärische Linsenoberflächen vorzusehen, die gemäß der Charakterisierung durch Zernikepolynome mit der geforderten Genauigkeit leicht herstellbar sind.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, um die Wirkung dieser asphärischen Linsenoberflächen noch zu verbessern, jeweils benachbart zu den asphärischen Linsenoberfläche eine sphärische Linsenoberfläche anzuordnen, deren Radius maximal um 30 % vom Radius der asphärischen Linsenoberfläche abweicht. Durch diese Maßnahme wird ein nahezu äquidistanter Luftspalt zwischen der asphärischen Linsenoberfläche und der benachbart angeordneten sphärischen Linsenoberfläche gebildet. Der Designer wird dadurch in der Durchbiegung der Asphäre freier, was eine zusätzlichen wichtigen Freiheitsgrad der Asphäre darstellt, ohne daß sich dadurch die Herstellbarkeit der Asphäre erschert.

Weitere vorteilhafte Maßnahmen sind in weiteren Unteransprüchen anhand der Ausführungsbeispiele näher beschrieben.

Es zeigt:

Figur 1: Projektionsbelichtungsanlage;

Figur 2: Linsenordnung eines Projektionsobjektives, das für die Wellenlänge 351 nm ausgelegt ist;

Figur 3: Linsenordnung eines Projektionsobjektives, für die Wellenlänge 193 nm; und

Figur 4: Prüfanordnung der in Figur 2 eingesetzten asphärischen Linse.

Anhand von Figur 1 wird zunächst der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage 1 beschrieben. Die Projektionsbelichtungsanlage weist eine Beleuchtungseinrichtung 3 und ein Projektionsobjektiv 5 auf. Das Projektionsobjektiv 5 umfaßt eine Linsenordnung 19 mit einer Aperturblende AP, wobei durch die Linsenordnung 19 eine optische Achse 7 definiert wird. Zwischen Beleuchtungseinrichtung 3 und Projektionsobjektiv 5 ist eine Maske 9 angeordnet, die mittels eines Maskenhalters 11 im Strahlengang gehalten wird. Solche in der Mikrolithographie verwendeten Masken 9 weisen eine Mikrometer- bis Nanometerstruktur auf, die mittels des Projektionsobjektives 5 bis zu einem Faktor von 10, insbesondere um den Faktor 4, verkleinert auf eine Bildebene 13 abgebildet werden. In der Bildebene 13 wird ein durch einen Substrathalter 17 positioniertes Substrat bzw. ein Wafer 15 gehalten. Die noch auflösbaren minimalen Strukturen hängen von der Wellenlänge λ des für die Beleuchtung verwendeten Lichtes sowie von der Apertur des Projektionsobjektives 5 ab, wobei die maximal erreichbare Auflösung der Projektionsbelichtungsanlage mit abnehmender Wellenlänge der Beleuchtungseinrichtung 3 und mit zunehmender Apertur des Projektionsobjektives 5 steigt.

Die in Figur 2 dargestellte Linsenanordnung 19 eines Projektionsobjektives 5 für die Mikrolithographie umfaßt 31 Linsen, die in 6 Linsengruppen G1 - G6 einteilbar sind. Diese Linsenanordnung ist für die Wellenlänge 351 nm ausgelegt.

Die erste Linsengruppe G1 beginnt mit einer Negativlinse L1 auf die vier Positivlinsen L2 - L5 folgen. Dieser erste Linsengruppe weist positive Brechkraft auf.

Die zweite Linsengruppe G2 beginnt mit einer dicken Meniskenlinse L6 negativer Brechkraft, die zum Objekt hin gewölbt ist. Auf diese Negativlinse folgen zwei weitere Negativlinsen L7 und L8. Die darauffolgende Linse L9 ist einer Meniskenlinse positiver Brechkraft, die objektseitig eine konvexe Linsenoberfläche aufweist und somit zum Objekt hin gewölbt ist. Als letzte Linse der zweiten Linsengruppe ist eine zum Bild hin gewölbte Meniskenlinse negativer Brechkraft vorgesehen, die auf der bildseitig angeordneten konvexen Linsenoberfläche asphärisiert ist. Mittels dieser asphärischen Linsenoberfläche in der zweiten Linsengruppe G2 ist insbesondere eine Korrektur von Bildfehlern im Bereich zwischen Bildfeldzone und Bildfeldrand möglich. Insbesondere können die Bildfehler höherer Ordnung, die bei Betrachtung von Sagittalschnitten deutlich werden, korrigiert werden. Da sich diese im Sagittalschnitt ersichtlichen Bildfehler insbesondere schwer korrigieren lassen, ist dies ein besonders wertvoller Beitrag.

Diese asphärische Linsenoberfläche wird durch die folgende Formel mit den Zernikepolynomen Z₉, Z₁₆, Z₂₅, Z₃₆, Z₄₉ und Z₆₄ mathematisch beschrieben. Für die asphärische Linsenoberfläche gilt:

$$P(h) = \frac{h^2}{R(1 + \sqrt{1 - \frac{h^2}{R^2}})} + K_0 + K_4 * Z_4 + K_9 * Z_9 + K_{10} * Z_{16} + K_{25} * Z_{25} + K_{36} * Z_{36} \\ + K_{49} * Z_{49} + K_{64} * Z_{64}$$

mit

$$Z_4 = (2 \times h^2 - 1)$$

$$Z_9 = (6h^4 - 6h^2 + 1)$$

$$Z_{16} = (20h^6 - 30h^4 + 23h^2 - 1)$$

$$Z_{25} = (70h^8 - 140h^6 + 90h^4 - 20h^2 + 1)$$

$$Z_{36} = (252h^{10} - 630h^8 + 560h^6 - 210h^4 + 30h^2 - 1)$$

$$Z_{49} = (924h^{12} - 2772h^{10} + 3150h^8 - 1680h^6 + 420h^4 - 42h^2 + 1)$$

$$Z_{64} = (3432h^{14} - 12012h^{12} + 16632h^{10} - 11550h^8 + 4200h^6 - 756h^4 + 56h^2 - 1)$$

wobei P die Pfeilhöhe als Funktion des normierten radialen Abstandes h von der optischen Achse ist.

$$h = \frac{\text{Abstand von der optischen Achse}}{\frac{1}{2} \text{ Linsendurchmesser der Asphäre}} = \text{normierter Radius}$$

$$\leq 0 < h \leq 1$$

Die den Zernikepolynomen zugeordneten Koeffizienten und der Radius zur mathematischen Beschreibung der asphärischen Linsenoberfläche sind ebenfalls in der Tabelle angegeben. Der Radius der asphärischen Linsenoberfläche ist derart festgelegt, so daß gilt:

$$K_4 * Z_4 = 0 \Rightarrow R$$

Bei Wahl eines abweichenden Radiuses ergeben sich andere Zernikekoeffizienten. Insbesondere die Zernikepolynome niedrigerer Ordnung würden sich verändern. Durch eine Wahl bei der $K_4 = 0$ oder nahezu 0 ist, können anhand der Zernikepolynome besonders leicht Aussagen über die Herstellbarkeit und Prüfbarkeit der Asphäre von den Zernikekoeffizienten abgeleitet werden. Der aus dem Zernikepolynom Z_9 resultierende Anteil trägt zur sphärischen Aberration dritter Ordnung bei. Die aus dem Zernikepolynom Z_{16} resultierenden Anteile tragen zur Korrektur der sphärischen Aberration fünfter Ordnung bei. Die Beiträge aus dem Zernikepolynom Z_{25} tragen zur Korrektur der sphärischen Aberration siebter Ordnung bei und die Anteile aus dem Zernikepolynom Z_{36} tragen zur Korrektur der sphärischen Aberration neunten Ordnung bei.

Die dritte Linsengruppe G3 wird durch die folgenden fünf Linsen L11 – L15 gebildet. In der Mitte der dritten Linsengruppe sind zwei dicke Positivlinsen angeordnet, deren zueinander weisende Oberflächen stark gekrümmt sind. Zwischen diesen beiden dicken Positivlinsen ist eine sehr dünne Positivlinse L13 angeordnet, die fast keine Brechkraft aufweist. Diese Linse ist von geringerer Bedeutung, so daß auf diese Linse bei Bedarf unter geringen Modifikationen des Objektivaufbaues verzichtet werden kann. Diese dritte Linsengruppe weist positive Brechkraft auf.

Die vierte Linsengruppe G4 wird durch drei Negativlinsen L16 – L18 gebildet und weist somit negative Brechkraft auf.

Die fünfte Linsengruppe G5 wird durch Linsen L19 – L27 gebildet. Nach den ersten drei Positivlinsen L19 – L21 ist die Blende angeordnet. Nach der Blende sind zwei dicke Positivlinsen angeordnet, bei denen die zueinander gewandten Oberflächen eine starke Krümmung aufweisen. Diese Anordnung der Linsen L22 und L23 wirkt sich vorteilhaft auf die sphärische Aberration aus. Es wird durch diese Anordnung der Linsen L22 und L23 eine dem Prinzip der „Linse bester Form“ Rechnung getragen, d.h. in einem Strahlengang annähernd paralleler Strahlen stehen stark gekrümmte Flächen. Gleichzeitig werden gezielte Beiträge zur Unterkorrektur der schiefen sphärischen Aberration bereitgestellt, die in Verbindung mit den beiden nachgestellten Menisken L24 und L25, die auf die schiefe sphärische Aberration überkorrigierend wirken, eine hervorragende Gesamtkorrektur ermöglichen. Die Brennweiten dieser Linsen sind $f_{12} = 465,405 \text{ mm}$ und $f_{34} = 448,462 \text{ mm}$.

Die sechste Linsengruppe G6 weist als erste Linse eine Negativlinse L28 auf, auf die zwei dicke Linsen folgen. Abweichend von dem beschriebenen Beispiel kann es zur Reduzierung von Compaction vorteilhaft sein, als Linsenmaterial Quarzglas für die letzten beiden Linsen dieser Linsengruppe zu verwenden.

Die Länge dieses Objektivs beträgt von Objektebene 0 bis zur Bildebene 0' 1000 mm. Das Bildfeld beträgt 8 x 26 mm. Die numerische Apertur dieses Objektivs ist 0,75. Bei

diesem Objektiv ist eine Bandbreite von etwa 2,5 pm zulässig. Die exakten Linsendaten sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1

M1440a LINSE	RADIEN	DICKEN	GLAESER	½ Linsen- durchmesser	Brechzahl bei 351nm
0	UNENDL	35.0240	L710	60.887	.999982
L 1	-908.93348	7.0000	FK5	61.083	1.506235
	284.32550	6.4165	L710	63.625	.999982
L 2	968.84099	23.7611	FK5	64.139	1.506235
	-212.21935	.7000	L710	66.550	.999982
L 3	413.73094	17.2081	FK5	69.428	1.506235
	-424.88479	18.8724	L710	69.711	.999982
L 4	591.81336	19.7102	FK5	69.490	1.506235
	-250.67222	.7000	L710	69.228	.999982
L 5	-2772.23751	12.8582	FK5	67.060	1.506235
	-255.60433	.7000	L710	66.381	.999982
L 6	4699.63023	9.0382	FK5	62.603	1.506235
	120.65688	26.0302	L710	56.905	.999982
L 7	-182.28783	6.0000	FK5	56.589	1.506235
	302.39827	20.1533	L710	57.318	.999982
L 8	-140.55154	6.0000	FK5	57.674	1.506235
	205.78996	.7000	L710	64.913	.999982
L 9	197.09815	10.0000	FK5	66.049	1.506235
	223.79756	27.0961	L710	68.261	.999982
L 10	-191.72586	8.0000	FK5	70.299	1.506235
	340.27531 A	2.2458	L710	77.287	.999982
L 11	-292.95078	19.3593	FK5	77.813	1.506235
	-143.32621	.7000	L710	80.683	.999982
L 12	1440.49435	47.0689	FK5	95.650	1.506235
	-155.30867	.7000	L710	98.253	.999982
L 13	-2647.76343	13.8320	FK5	100.272	1.506235
	-483.82832	.7000	L710	100.543	.999982
L 14	169.62760	45.9417	FK5	99.308	1.506235
	-1090.68864	3.2649	L710	96.950	.999982
L 15	102.07790	10.0000	FK5	77.455	1.505235
	100.38160	40.1873	L710	73.370	.999982
L 16	-504.79995	6.0000	FK5	71.843	1.506235
	130.61081	34.6867	L710	64.992	.999982
L 17	-153.51955	6.0000	FK5	64.734	1.506235
	284.44035	34.2788	L710	67.573	.999982
L 18	-114.12583	8.2925	FK5	68.531	1.506235

	731.33965	20.4412	L710	84.132	.999982
L 19	-291.19603	24.2439	FK5	86.387	1.506235
	-173.68634	.7000	L710	93.185	.999982
L 20	-10453.06716	28.2387	FK5	111.655	1.506235
	-304.21017	.7000	L710	114.315	.999982
L 21	-2954.65846	30.7877	FK5	122.647	1.506235
	-312.03660	7.0000	L710	124.667	.999982
BLLENDE	UNENDL	.0000		131.182	.999982
	BLLENDE	.0000		131.182	
L 22	1325.30512	52.2352	FK5	133.384	1.506235
	-282.76663	.7000	L710	135.295	.999982
L 23	276.96510	52.6385	FK5	134.809	1.506235
	-1179.05517	25.2703	L710	132.935	.999982
L 24	-311.05526	10.0000	FK5	131.670	1.506235
	-587.25843	10.5026	L710	130.474	.999982
L 25	-374.19522	15.0000	FK5	130.116	1.506235
	-293.45628	.7000	L710	130.127	.999982
L 26	198.19004	29.6167	FK5	111.971	1.506235
	535.50347	.7000	L710	109.450	.999982
L 27	132.82366	34.0368	FK5	94.581	1.506235
	361.69797	12.8838	L710	90.620	.999982
L 28	7006.77771	9.7505	FK5	88.792	1.506235
	349.77435	1.0142	L710	79.218	.999982
L 29	174.38688	38.8434	FK5	73.443	1.506235
	55.37159	4.9107	L710	45.042	.999982
L 30	55.08813	42.8799	FK5	43.842	1.506235
	807.41351	1.9795	L710	30.725	.999982
	UNENDL	3.0000	FK5	29.123	1.506235
	UNENDL	12.0000		27.388	.999982

K 4 = 0

K 9 = 66445,43 nm

K 16 = 33200,31 nm

K 25 = 4553,78 nm

K 36 = 843,85 nm

K 49 = 172,24 nm

K 64 = 30,49 nm

K₀ = -37097,62 nm = Offset

In Figur 3 ist eine Linsenanordnung, die für die Wellenlänge 193 nm ausgelegt ist, und 31 Linsen umfaßt, dargestellt. Diese 31 Linsen sind in sechs Linsengruppen G1 - G6 unterteilbar.

Die erste Linsengruppe G1 umfaßt die Linsen L101 – L105 und weist insgesamt positive Brechkraft auf.

Die zweite Linsengruppe G2 umfaßt die Linsen L106 – L110. Diese Linsengruppe weist insgesamt negative Brechkraft auf und es wird durch diese Linsengruppe eine Taille gebildet. Die ersten drei Linsen L106 – L108 weisen negative Brechkraft auf, wobei die Linse L109 eine vom Retikel gekrümmte Meniskenlinse ist, die positive Brechkraft aufweist. Die Linse L110 ist eine zum Wafer gekrümmte Meniskenlinse, die auf der bildseitigen Linsenoberfläche mit einer Asphäre AS1 versehen ist. Durch diese asphärische Linsenoberfläche AS1 und die nachfolgende sphärische Linsenoberfläche S2 der Linse L111 wird ein nahezu äquidistanter Luftspalt, der mindestens eine Dicke von 10 mm umfaßt, gebildet.

Die Linse L111 gehört bereits zur Linsengruppe G3, die die Linsen positiver Brechkraft L111 – L115 umfaßt. Diese Linsengruppe G3 weist insgesamt positive Brechkraft auf.

Die vierte Linsengruppe G4 wird durch die Linsen L116 – L118 gebildet und weist negative Brechkraft auf.

Die fünfte Linsengruppe wird durch die Linsen L119 – L127 gebildet und weist positive Brechkraft auf. Zwischen den Linsen L121 und L122 ist eine Blende angeordnet. Durch die Linsen L128 – L131 wird die sechste Linsengruppe G6 gebildet, die positive Brechkraft aufweist.

In der dritten Linsengruppe ist die Linse L111 aus CaF_2 . Der Einsatz von CaF_2 an dieser Stelle trägt zur Verminderung des Farbquerfehlers bei.

Weiterhin sind die Positivlinsen um die Blende herum, d.h. zwei Positivlinsen vor der Blende und die beiden Positivlinsen L122 und L123 nach der Blende aus CaF_2 . Da der Farblängsfehler sowohl vom Strahldurchmesser als auch von der Brechkraft abhängt, kann im Bereich der Blende, da dort der Strahldurchmesser am größten ist und die Brechkräfte der Linsen relativ hoch sind, der Farblängsfehler in diesem Bereich gut kompensiert werden. Im Gegensatz zu der CaF_2 -Linse L111 in der dritten Linsengruppe G3 dürfen diese CaF_2 -Linsen L120 – L123 ein gewisses Maß an Inhomogenitäten aufweisen, die man durch eine gezielte Oberflächendeformation an der jeweiligen Linse ausgleichen kann. Dies ist möglich, da hier nur geringe Variation der Strahlenneigungen auftreten.

In der letzten Linsengruppe G6 ist eine weitere CaF_2 -Linse L130 vorgesehen. Bei dieser Linse L130 handelt es sich um eine strahlungsmäßig besonders stark belastete Linse, so daß der Einsatz des Materials CaF_2 zur Vermeidung von Compaction und Lens Heating beiträgt, da das Material CaF_2 weniger Compactioneffekte zeigt als Quarzglas.

Bei diesem Objektiv handelt es sich um ein sehr gut korrigiertes Objektiv, bei dem die Abweichung von der idealen Wellenfront $\leq 7,5 \text{ m}\lambda$ mit $\lambda = 193 \text{ nm}$ beträgt. Der Abstand zwischen Objektebene 0 und Bildebene 0' beträgt 1000 mm und es ist ein Bildfeld von $8 \times 26 \text{ mm}^2$ belichtbar. Die numerische Apertur beträgt 0.76. Die genauen Linsendaten sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

TABELLE 2

M1649a

FLAECHE	RADIEN	DICKEN	GLAESER	BRECHZAHL 193.304nm	1/2 FREIER DURCHMESSER
0	unendlich	32.000000000	L710	0.99998200	54.410
1	unendlich	14.179159189	L710	0.99998200	60.478
2	-164.408664394	6.500000000	SiO2	1.56028900	60.946
3	477.741339202	7.790005801	HE	0.99971200	66.970
4	2371.284181560	17.748516367	SiO2	1.56028900	69.245
5	-223.822058173	0.700000000	HE	0.99971200	70.887
6	1195.174516496	16.908813880	SiO2	1.56028900	75.328
7	-310.690220530	0.700000000	HE	0.99971200	76.162
8	485.562118998	17.669364706	SiO2	1.56028900	78.088
9	-493.961769975	0.700000000	HE	0.99971200	78.165
10	283.324079929	21.403504698	SiO2	1.56028900	76.991
11	-575.651259941	0.700000000	HE	0.99971200	76.178
12	219.789049573	25.467779640	SiO2	1.56028900	70.691
13	103.024318785	22.996372410	HE	0.99971200	59.994
14	-1410.580832137	6.300000000	SiO2	1.56028900	59.678
15	138.332121536	22.459549851	HE	0.99971200	58.321
16	-258.063359303	6.300000000	SiO2	1.56028900	58.777
17	211.150408840	4.720624389	HE	0.99971200	63.072
18	285.055583047	10.000000000	SiO2	1.56028900	64.494

19	341.327971403	25.082030664	HE	0.99971200	66.580
20	-155.970649922	8.215676832	SIO2	1.56028900	68.121
21	-340.915621 A	13.915549894	HE	0.99971200	76.026
22	-239.610088127	17.154283278	CAF2HL	1.50143600	81.795
23	-158.430656481	0.700000000	HE	0.99971200	85.540
24	2921.942532737	36.745821475	SIO2	1.56028900	100.629
25	-199.180375968	0.700000000	HE	0.99971200	102.642
26	581.258911671	38.708808511	SIO2	1.56028900	108.907
27	-317.375895135	0.700000000	HE	0.99971200	109.183
28	166.493530930	41.501871919	SIO2	1.56028900	100.340
29	unendlich	4.685571876	HE	0.99971200	97.519
30	189.438503324	15.000000000	SIO2	1.56028900	82.804
31	129.565379485	27.721937943	HE	0.99971200	72.481
32	-827.552674490	6.300000000	SIO2	1.56028900	71.203
33	193.630934593	25.802720751	HE	0.99971200	65.619
34	-188.509323766	6.300000000	SIO2	1.56028900	65.012
35	190.247434306	36.481919216	HE	0.99971200	65.037
36	-110.072588070	6.300000000	SIO2	1.56028900	65.743
37	827.067219258	19.846860784	HE	0.99971200	78.180
38	-240.277331422	13.611987588	SIO2	1.56028900	80.133
39	-184.012276263	0.700000000	HE	0.99971200	84.422
40	-8088.819259729	34.993850995	CAF2HL	1.50143600	98.673
41	-208.055465305	0.700000000	HE	0.99971200	102.289
42	1182.181885936	40.462877050	CAF2HL	1.50143600	113.699
43	-275.059004135	0.000000000	HE	0.99971200	115.480
44	unendlich	4.499000000	HE	0.99971200	115.366
45	1047.795255328	31.392914078	CAF2HL	1.50143600	117.911
46	-395.614261534	0.700000000	HE	0.99971200	117.992
47	284.811208676	40.095643635	CAF2HL	1.50143600	114.217
48	-822.040097050	25.559296680	HE	0.99971200	112.963
49	-230.468653441	12.000000000	SIO2	1.56028900	111.553
50	-1740.772555558	16.496567642	HE	0.99971200	112.486
51	-384.661514825	35.655800394	SIO2	1.56028900	112.495
52	-216.196472563	0.700000000	HE	0.99971200	114.658
53	166.072770698	31.752863257	SIO2	1.56028900	101.831
54	515.781794736	0.700000000	HE	0.99971200	99.354
55	136.216120952	28.320295414	SIO2	1.56028900	87.888
56	324.185504117	12.445936974	HE	0.99971200	83.547
57	2205.751425211	12.000000000	SIO2	1.56028900	80.947
58	315.974328907	0.700000000	HE	0.99971200	71.831
59	128.655046396	35.172368748	SIO2	1.56028900	65.168
60	57.302742004	1.258423244	HE	0.99971200	42.354
61	54.304405296	34.782435109	CAF2HL	1.50143600	41.547
62	328.210777698	3.191995120	HE	0.99971200	30.793
63	unendlich	3.000000000	SIO2	1.56028900	28.819
64	unendlich	12.000000000	L710	0.99998200	27.177
65					13.603

L710 ist Luft bei 950mbar.

ASPHAERISCHE KONSTANTEN

ANTEIL ZERNIKE DER ASPHAERISCHEN FLAECHE NR. 21

ZER9	=	246.393 μm
ZER16	=	7.96520 μm
ZER25	=	1.39532 μm
ZER36	=	0.117584 μm
ZER49	=	-0.0032066 μm

Bezogen auf einen halben freien Durchmesser von 76.026 mm

Asphärische Koeffizienten:

K0 = -31597,65 nm
K4 = 0
K9 = 57834,73 nm
K16 = 29505,91 nm
K25 = 3835,77 nm
K36 = 677,93 nm
K49 = 133,64 nm
K64 = 23,24 nm

In Figur 4 ist ein möglicher Aufbau einer Prüfoptik, die zur Überprüfung der optischen Eigenschaften der in Figur 2 und 3 enthaltenen asphärischen Linsenoberfläche geeignet ist. Diese Prüfoptik umfaßt 4 sphärische Linsen T1 bis T4 aus Quarzglas. Die Länge dieses Prüfaufbaues beträgt 480 mm. Der Arbeitsabstand, d.h. der Abstand zwischen letzter Linse der Prüfoptik und der zu prüfenden asphärischen Oberfläche, beträgt 20 mm. Mit dieser Prüfoptik ist ein Prüfling bis zu einem maximalen Durchmesser von 155,4 mm prüfbar. Der Eingangsdurchmesser der Prüfoptik beträgt 192,107 mm. Der maximale Durchmesser dieser Prüfoptik beträgt 193,874 mm. Die Abweichung von der idealen Wellenfront beträgt 0,384 bei einer Prüfwellenlänge von 632,8 nm. Dieser Restfehler kann rechnerisch kompensiert werden.

Diese Prüfoptik zeichnet sich dadurch aus, daß sie isoplanatisch ist. Die isoplanatische Korrektur der K-Optik ist wertvoll, da sie den Abbildungsmaßstab bei der Abbildung der asphärischen Linsenoberfläche von der Mitte bis zum Rand auf dem entstehenden Interferenzbild erhält. Dadurch erhält man eine konstante laterale Auflösung bei der Asphärenprüfung. Aufgrund des Interferenzmusters das sich bei Bestrahlung mit einer ebenen Wellenfront ergibt, wird die Oberflächenform der asphärischen Linsenoberfläche durch das erscheinende Interferenzmuster bestimmt.

Die genauen Linsendaten der Prüfoptik sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3

Linse	Radius	Dicke	Material	Durchmesser	sin-i
P1	1695.617	30.807	SIO2	192.11	0.057
	-263.187	34.771		191.75	0.555
P2	213.537	10.000	SIO2	161.68	0.172
	97.451	308.777		146.57	0.800
P3	154.172	36.663	SIO2	193.87	0.686
	595.848	45.306		190.04	0.043
P4	-246.667	13.677	SIO2	181.65	0.548
	-206.476	20.000		181.48	0.652

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-----------------------------------|
| 1 | Projektionsbelichtungsanlage |
| 2 | Beleuchtungseinrichtung |
| 5 | Projektionsobjektiv |
| 7 | Optische Achse |
| 9 | Maske |
| 11 | Maskenhalter |
| 13 | Bildebene |
| 15 | Wafer, Substrat |
| 17 | Substrathalter AP = Aperturblende |
| 19 | Linsenanordnung |

Patentansprüche:

1. Linse mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Beschreibung der asphärischen Linsenoberfläche (AS1) mittels Zernikepolynome mindestens zwei der folgenden Bedingungen

$$a) \left| \frac{K_{16}}{K_9} \right| < 0,7$$

$$b) \left| \frac{K_{25}}{K_9} \right| < 0,1$$

$$c) \left| \frac{K_{36}}{K_9} \right| < 0,02$$

erfüllt sind, wobei der Radius der asphärischen Linsenoberfläche derart festgelegt ist, so daß $K_4 = 0$ gilt.

2. Linse mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für a) gilt: $\left| \frac{K_{16}}{K_9} \right| < 0,6$

$$\text{und / oder für b) gilt: } \left| \frac{K_{25}}{K_9} \right| < 0,07$$

$$\text{und/oder für c) gilt: } \left| \frac{K_{36}}{K_9} \right| < 0,015$$

3. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die asphärische Linsenoberfläche alle drei Bedingungen a) bis c) erfüllt.
4. Linse insbesondere für die Mikrolithographie mit mindestens einer asphärischen Linsenoberfläche, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den Zernikepolynomen resultierenden Anteile bei Verwendung des normierten Radius die folgende Werte nicht überschreiten:

$$a) \quad K_9 * Z_9 \leq 300 \mu\text{m} \quad \text{und / oder}$$

- b) $K_{16} * Z_{16} \leq 10\mu\text{m}$ und / oder
- c) $K_{25} * Z_{25} \leq 2\mu\text{m}$ und / oder
- d) $K_c * Z_c \leq 1\mu\text{m}$ für alle $c > 35$

- 5. Linse nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die asphärische Linsenoberfläche (AS1) auf einer konvexen Linsenoberfläche vorgesehen ist.
- 6. Objektiv, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv mindestens eine Linse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 umfaßt.
- 7. Projektionsobjektiv mit mindestens einem ersten und einem zweiten Bauch, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Linse mit einer asphärischen Linsenoberfläche nach einem der Ansprüche 1 bis 5 in den Linsengruppen bis einschließlich zum zweiten Bauch angeordnet ist.
- 8. Objektiv nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zu der asphärischen Linsenoberfläche (AS1) benachbart eine Linsenoberfläche (S2) angeordnet ist, deren Radius um max. 30 % von dem Radius der asphärischen Linsenoberfläche (AS1) abweicht.
- 9. Objektiv nach einem der Ansprüche 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv ein Mikrolithographieobjektiv ist.
- 10. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, dadurch gekennzeichnet, daß ein Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 9 enthält.
- 11. Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile, bei dem ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat mittels einer Maske und einer Projektionsbelichtungsanlage mit einer Linsenanordnung, die mindestens eine Linse

mit einer asphärischen Linsenoberfläche nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

12. Verfahren zum Generieren von neuen Objektivdesigns, dadurch gekennzeichnet, daß für alle im Design vorgesehene asphärische Linsenoberflächen Linsenoberflächen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 sind.
13. Kompensationsoptik für die asphärische Linsenprüfung , die mindestens drei Linsen umfaßt, die einen Prüfdurchmesser zwischen 120mm und 350mm aufweist und die isoplanatisch korrigiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Abbildungsmaßstab bei der Prüfung zwischen der asphärischen Oberfläche und einer ebenen oder gekrümmten sphärischen Referenzfläche um weniger als 3%, vorzugsweise 1%, variiert.

1/4

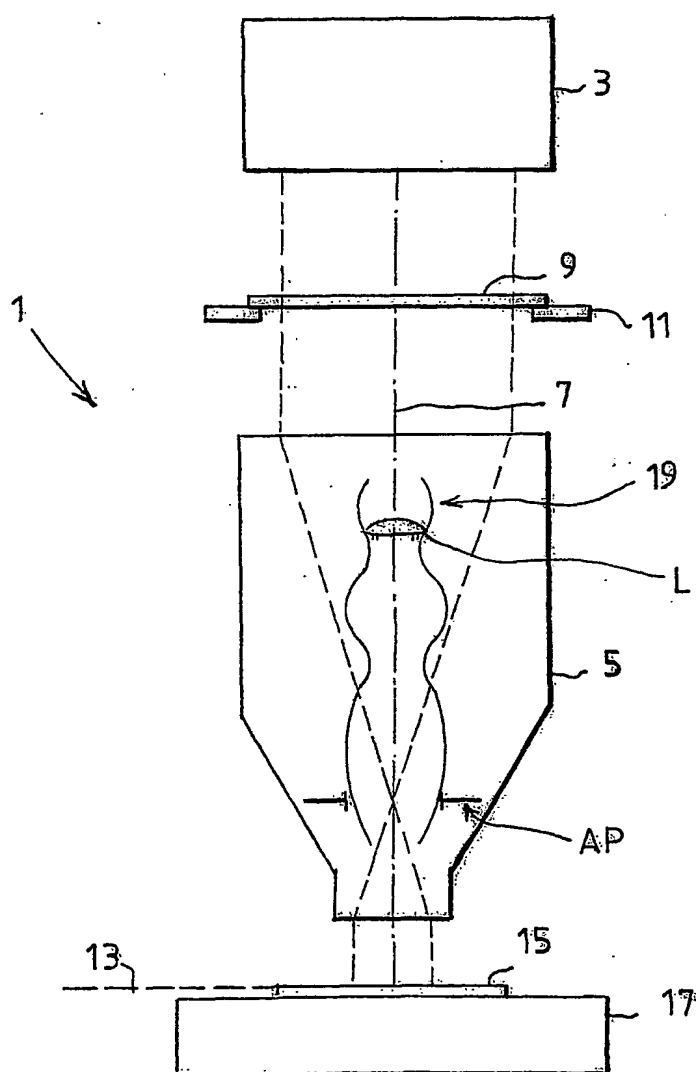
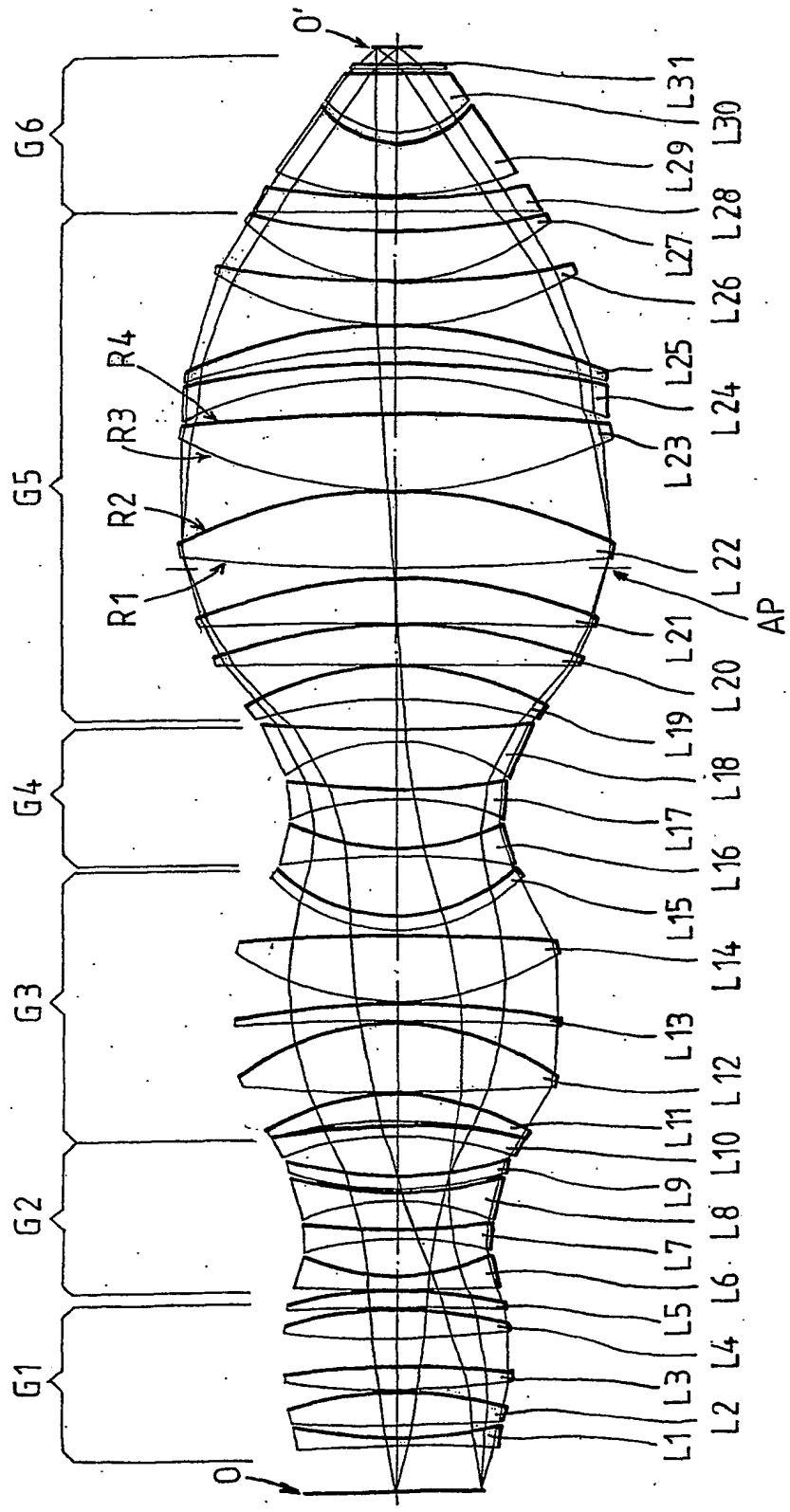
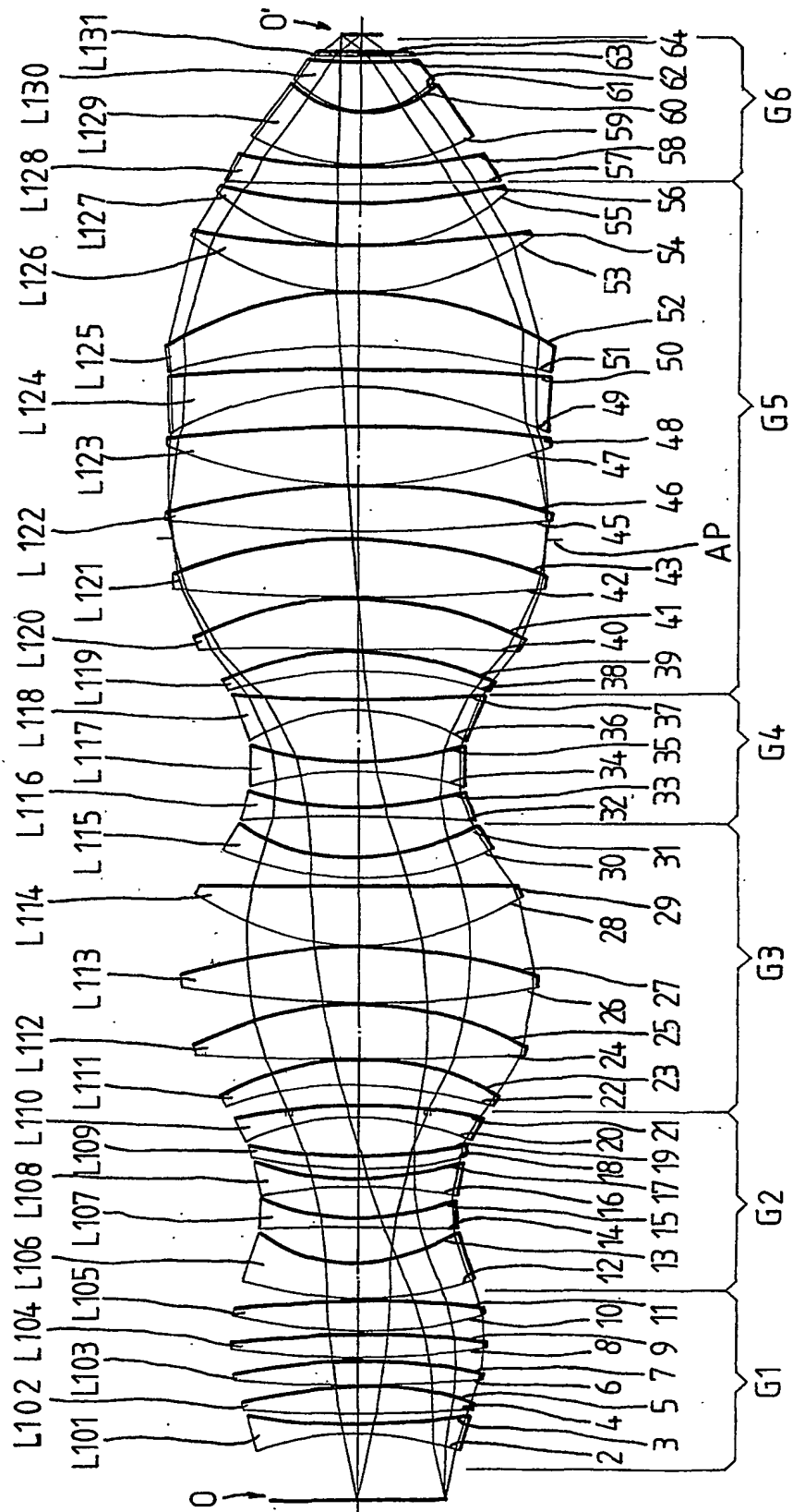
FIG. 1

FIG. 2



3/4

FIG.3

4/4

FIG. 4

